

벡터 인버터를 이용한 연속공정 제어 시스템 개발

변성훈, 홍찬욱, 김영민, 김정하, 권봉현
(주)LS산전 자동화연구소

Development of Continuous Process Control System Using Vector Inverter

S.H. Byun, C.O. Hong, Y.M. Kim, J.H. Kim, B.H. Kwon
LSIS R&D Center LS Industrial Systems Co., Ltd

ABSTRACT

This paper presents the design and development of web control algorithm of continuous process control system using vector inverter. The Diameter of web is calculated, tension is controlled by PID control and the speed reference of motor is calculated at current diameter. The performance of web control in this paper is verified by experiment

1. 서 론

철강, 제지, 섬유, 필름 산업과 같은 연속적인 제품 생산 라인에서는 여러 대의 전동기가 동시에 롤러들을 구동하고 있다. 연속 공정용 롤러의 제어 목적은 라인의 선속도(Line Speed)를 일정하게 유지함과 동시에 소재에 걸리는 장력을 일정하게 유지하는 것이다. 롤러간의 속도 편차에 의해 과도한 장력이 발생하면 소재가 파단(破斷)될 수 있으며, 또한 너무 낮은 장력이 발생하면 사행(蛇行)의 원인이 된다. 따라서 공정 라인의 운전 속도 변화에 따른 소재의 장력을 독립적으로 제어하기 위한 많은 연구가 있었다.^{[1][2]} 일반적으로 연속공정 시스템에서 상위 제어기(PLC 등)는 선속도를 지령, 소재의 직경을 계산, 전동기의 지령 속도를 계산하여 인버터에 지령하면 인버터는 지령 선속도에 따라 전동기를 구동하는 수동적인 입장이었다.

본 논문은 장력센서를 이용한 연속공정 라인에서 자사의 벡터 인버터(Starvert iV5 Series)에 선속도를 지령하였을 때 소재의 직경(Diameter) 및 직경에 따른 전동기의 지령 속도를 계산하여 일정한 장력을 유지하도록 하여 소재의 파단 및 사행이 발생하지 않도록 장력 제어(Tension control)를 할 수 있는 기능을 구현하였다. 또한 사용자의 편의성을 위해 최소한의 파라미터만을 조작하여 웹 제어(WEB Control)를 할 수 있도록 하였다.

2. 연속공정 제어 알고리즘

일반적으로 연속공정 제어시 상위 제어기가 선속도, 장력 제어, 소재의 직경(Diameter) 및 전동기 속도 지령을 계산한 후 인버터에 속도를 지령한다. 본 논문은 상위 제어기는 선속도를 인버터에 지령하고, 인버터는 선속 지령에 따라 직경 계산, 전동기 구동 속도 계산 및 장력 제어를 한다.

2.1 전동기 지령속도 연산

연속공정 라인에서 선속도를 인버터에 지령하였을 때 인버터는 소재의 직경에 따른 전동기 구동 속도를 계산하여야 한다. 식 (1)은 지령 선속도에 따른 전동기 구동 속도를 나타낸다.^{[3][4]} 이 때 기어비(Gear Ratio)는 전동기와 구동 롤러 사이의 기어비를 의미한다. 식(1)에서 전동기 지령 속도를 계산하기 위해서 인버터는 소재의 직경을 알고 있어야만 한다. 그림 1은 전동기 지령 속도를 계산하기 위한 블록선도이다. 최대 선속지령이 인가되고 최소 직경(Min Diameter)일 때 전동기는 설정된 최대 속도로 회전한다. 이 때 속도 연산기의 최종 출력인 속도 기준(Speed Ref)은 장력 제어하기 전의 속도 기준이다.

$$\text{지령속도} [rpm] = \text{기어비} \times \frac{\text{선속지령} [m/min]}{\text{직경} [m] \times \pi} \quad (1)$$

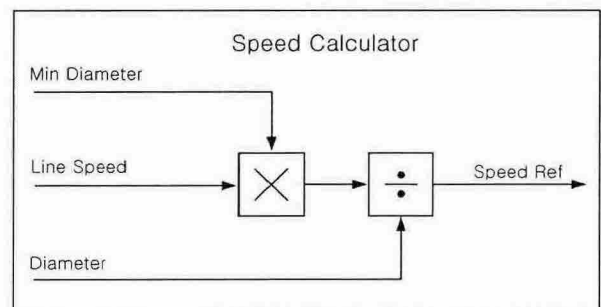


그림 1. 지령속도 연산 블록선도

Fig 1. Block Diagram of Speed Reference Calculation

2.2 직경 연산

전동기 지령속도를 계산하기 위해서는 직경을 알고 있어야 한다. 직경을 계산하기 위해서는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다. 단 지령속도 대신 전동기 속도를 대입하여 구할 수 있다. 식 (2)는 직경을 구하는 수식을 나타낸다. 그림 2는 직경을 계산하기 위한 블록선도이다. 직경을 계산할 때에도 최소 직경을 고려하여야 한다. 다른 입력값들은 직경을 계산하기 위한 조건들이다.

$$\text{직경}[m] = \frac{\text{기어비}}{\text{전동기 속도}} \times \frac{\text{선속지령}[mpm]}{\pi} \quad (2)$$

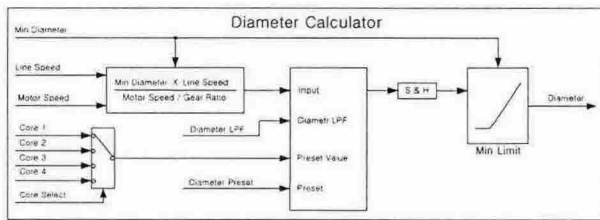


그림 2. 직경 연산 블록선도
Fig 2. Block Diagram of Diameter Calculation

2.3 장력 제어

장력 센서(LoadCell 또는 Dancer)를 이용한 장력 제어는 PID 제어를 한다. 그림 3은 실제 적용한 PID 블록선도를 나타낸 것이다. 장력 기준값은 자사 인버터의 키패드나 아날로그 입력을 통해 설정할 수 있다. 장력 피드백은 아날로그 입력이나 통신을 이용할 수 있다. 이때 피드백량은 로드셀의 경우 장력량을, 댄서의 경우 위치를 [%]로 입력받아 PID 제어를 한다. 블록선도에 나타낸 P Profiler Calculator는 직경에 따라 롤러의 관성이 달라지므로 이를 보상하기 위해 PID제어기의 P 게인을 조정하기 위한 것이다. PID 제어기의 최종 출력은 전동기 지령속도 연산 블록선도의 출력과 더하여 최종 전동기 지령속도를 설정한다.

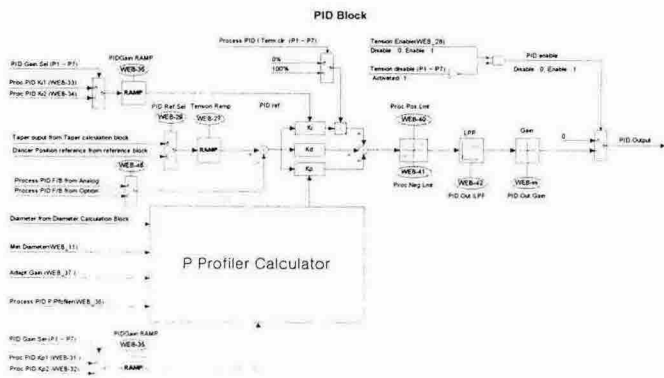


그림 3. 장력 제어 블록선도
Fig 3. Block Diagram of Tension Control

3. 실험 결과

연속공정 라인을 실험하기 위해 제작된 모의시험 장치에서 구현된 웹 제어 알고리즘의 동작 특성을 실험하였다. 모의시험 장치는 그림 4와 같이 와인더(Winder), 언와인더(Unwinder), 2개의 님롤(Nip Roll) 및 측면 제어를 위한 전용 장치(Lateral Controller)를 갖추고 있으며, 설계 사양은 표 1에 나타내었다. 웹 제어 기능을 구현한 자사의 벡터제어 인버터 SV055iV5-4로 각 롤들을 구동하였다. 실험은 상위 제어기를 별도로 두지 않고 자사 인버터의 아날로그 입력 단자를 통해 선속도를 지령하였다. 장력 기준치는 10[kgf]에 해당하는 50[%]로 설정하였으며, 이 때 장력 피드백량은 5[V]에 해당한다. 웹 재료는 종이를 사용하였다.

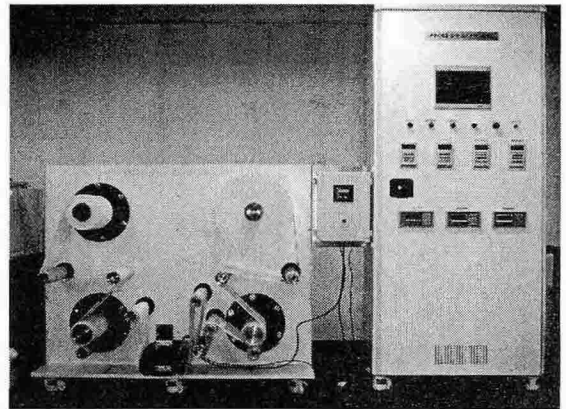


그림 4. 와인딩 시스템 모의시험 장치
Fig 4. The Prototype of Winding System

표 1. 와인딩 시스템 모의 시험 장치 사양
Table 1. Parameters of Winding System

	Winder/Unwinder Roll	Nip Roll
Motor Power	1.5 [kW]	0.75 [kW]
Motor Base Speed	1760 [rpm]	1760 [rpm]
Max Line Speed	50 [mpm]	50 [mpm]
Gear Ratio	5 : 1	5 : 1
Roll Radius	76 [mm]	250 [mm]
LoadCell	Rated Capacity : 20 [kgf] Rated Output : 0.5[V/kgf]	

그림 5, 6은 80[mpm] 선속도를 지령하였을 때 언와인더 및 와인더 인버터의 선속도 지령, 전동기 속도, 장력 피드백 및 직경을 나타낸 파형이다. 시간이 지남에 따라 언와인더 인버터에서는 소재를 풀어주기 때문에 전동기 속도는 증가하고, 소재의 직경은 감소함을 알 수 있다. 또한 와인더 인버터에서는 소재를 감아주기 때문에 전동기 속도는 감소하고, 소재의 직경은 증가함을 알 수 있다. 이 때 두 인버터의 장력 피드백은 10[kgf]로 일정하게 제어함을 알 수 있다.

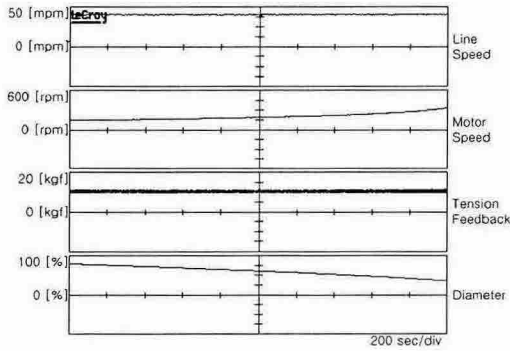


그림 5. 선속도 80[mpm]일 때 언와인더 인버터의 시험파형
Fig 5. Result of Unwinder Inverter at Line Speed 80 [mpm]

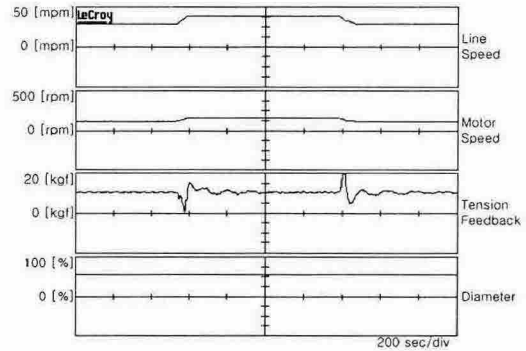


그림 8. 선속도를 변화하였을 때 와인더 인버터의 시험파형
Fig 8. Result of Winder Inverter at Line Speed Change

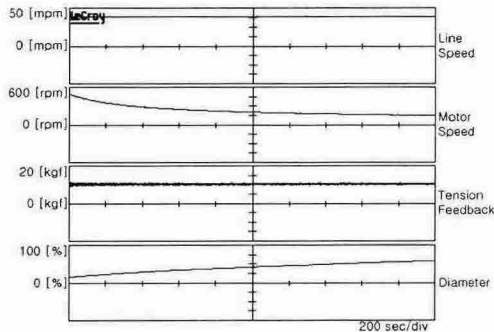


그림 6. 선속도 80[mpm]일 때 와인더 인버터의 시험파형
Fig 6. Result of Winder Inverter at Line Speed 80 [mpm]

4. 결론

연속공정 라인의 롤러를 구동하는 시스템에서 상위 제어기는 장력 제어를 하면서 와인더 및 언와인더 소재의 직경을 연산한 후 각각의 인버터에 전동기 구동 속도를 지령한다. 따라서 기존 시스템은 모든 제어를 상위 제어기에서 제어하므로 인버터는 수동적인 역할만 한다.

본 논문은 상위 제어기는 선속 지령만을 인가하고, 소재의 직경, 장력 제어 및 전동기 속도 지령은 자사 인버터의 웹 제어 기능 프로그램에 의해 계산한 후 연속공정 라인을 구동한다. 이와 같이 함으로서 사용자의 상위 제어기의 프로그램 작업을 덜어 주는 효과가 있다. 연소공정 모의 실험 장치에서의 다양한 실험을 통해 제안된 웹 제어 기능의 동작 특성이 우수함을 보였다.

참고 문헌

그림 7은 10[kgf], 6[kgf], 10[kgf]로 장력 기준치를 변화하였을 때 와인더 인버터의 선속도 지령, 전동기 속도, 장력 피드백 및 직경을 나타낸 파형이다. 장력 기준치를 변화하여도 장력제어가 원활히 이루어짐을 알 수 있다.

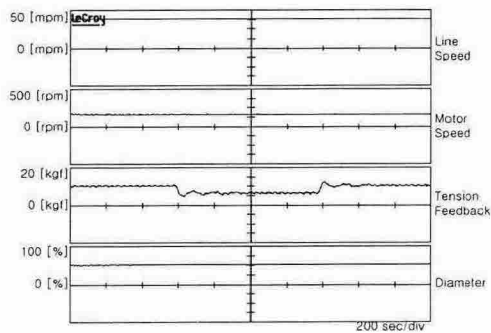


그림 7. 장력을 변화하였을 때 와인더 인버터의 시험파형
Fig 7. Result of Winder Inverter at Tension Change

그림 8은 30[mpm], 40[mpm], 30[mpm]으로 선속도 지령을 변화하였을 때 와인더 인버터의 선속도 지령, 전동기 속도, 장력 피드백 및 직경을 나타낸 파형이다. 선속 지령을 가변하였을 때 인버터는 소재의 직경에 따른 전동기 속도를 계산하여 가변하며, 이 때 장력 제어가 원활히 이루어짐을 알 수 있다.

- [1] K.N.Reid and K.C.Lin, "Control of Longitudinal Tension in Multi-span Web Transport Systems During Start Up", Proc. of International Conference of Web Handling IWEB3, pp 77-95, 1995
- [2] W. Wolfermann and D. Schroeder, "Application of Decoupling and State Space Control in Processing Machines with Continuous Moving Webs", Proc. of IFAC, vol. III, pp 100-105, 1987
- [3] David R. Roisum, "The Mechanics of Winding", Tappi Press, 1994
- [4] Siemens Co., Ltd, "Standard Software Package Axial Winder MS320 for T300 Technology Board for SIMOVERT Master Drivers 6SE70/71", Software Release 1.40